

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

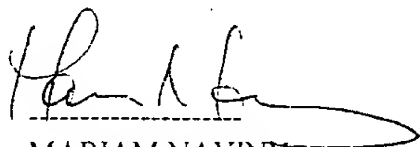
**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

IDEM JOB 01-11-127 (A&B)

## CERTIFICATION OF ACCURACY

I CERTIFY, UNDER PENALTY OF PERJURY UNDER THE LAWS OF THE UNITED STATES OF AMERICA THAT WE ARE COMPETENT IN ENGLISH AND **GERMAN** AND THAT THE FOLLOWING ARE, TO THE BEST OF OUR KNOWLEDGE AND BELIEF, TRUE, CORRECT, AND ACCURATE TRANSLATIONS OF THE ORIGINAL GERMAN DOCUMENTS.

NOVEMBER 29, 2001



MARIAM NAYINY  
PRESIDENT  
IDEM TRANSLATIONS, INC.

(19) **Federal Republic  
of Germany  
[Eagle]  
German  
Patent Office**

(12) **Published Patent Application**  
(10) **DE 44 01 892 A1**

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>  
**H 01 S 3/038**  
//H01 3/0971

(21) File Number: P 44 01 892.4  
(22) Application Date: 1/24/94  
(43) Publication Date: 7/27/96

<p>(71) Applicant: Lambda Physik Forschungsgesellschaft mbH, [Lambda Physics Research Limited Liability Company] 37079 Göttingen, DE</p> <p>(74) Representative: Baron von Pechmann, E., Graduate Chemist, Ph.D.; Behrens, D., Dr. of Engineering; Brandes, J., Graduate Chemist, Ph.D.; Goetz, R., Graduate Engineer; Graduate Business Administrator; von Hellfeld, A., Graduate Physicist, Ph.D., Patent Attorney; Würtenberger, G., Dr., Attorney; Schmidt, S., University Graduate Engineer; Wibbelmann, J., University Graduate Chemist, Ph.D., Patent Attorney, 81541 Munich</p>	<p>(72) Inventor Bücher, Hermann, Dr., 52074 Aachen, DE; Frowein, Helmut, 37077 Göttingen, DE</p>
---	---

Request for search in accordance with § 44 of the Patent Law is made.

(54) Electrode for a gas discharge laser

(57) Electrodes for gas discharge lasers, especially excimer lasers, are suggested, with a metal insert 16, 18 that is embedded in a body 12, 14 consisting of a material not sensitive to electrode burn-off, for example, ceramic.

[See original for drawing]

**The following information is taken from the documents submitted by the applicant.**

FEDERAL PRINT SHOP 5/85 508 030/212 7/27

DE 44 91 782 A1

### Description

The invention concerns an electrode for a gas discharge laser.

In particular, the invention addresses electrodes for excimer lasers where such lasers are to be included in whose discharge so-called exciplexes or trimmers are used, that is, excited noble gas halogenides that are stable only in excited states, so that, upon stimulation of the emission, a transition takes place into an unbound state.

Transversely excited gas discharge lasers have a laser chamber filled with the so-called working gas (also called laser gas) in which two electrodes are placed, usually parallel to the optical axis of a laser resonator. These electrodes serve for the so-called main discharge of the lasers, between them therefore the gas discharge is ignited. In order to achieve effective excitation of the working gas for the gas discharge, the working gas is subjected to pre-ionization before the beginning of the main discharge, that is,  $10^5$  to  $10^8$  per  $\text{cm}^3$  free electrons are generated in the laser gas by means of a pre-ionization before the beginning of the main discharge. It is known how to provide separate electrodes for this pre-ionization and to strike arcs between them. These electrodes used for pre-ionization are usually designated as auxiliary electrodes. In addition to such UV pre-ionization with arcs, a corona pre-ionization or an x-ray pre-ionization is also possible.

Working gas mixtures for excimer lasers (more precisely, exciplex lasers) contain, in addition to noble gases, a halogen component or a halogen donor, such as  $\text{F}_2$ ,  $\text{NF}_3$ ,  $\text{HCl}$ , etc. With a total pressure of 1.5 to 10 bar, the halogen concentration is 0.1 to 0.5%. This gas mixture is brought between the two longitudinally placed parallel main discharge electrodes and subjected to the high voltage discharge. In order to generate laser impulses of high energy, very high current densities of typically  $10^3 \text{ A/cm}^2$  and power densities of  $10^8 \text{ W/cm}^3$  and electron temperatures in the area of 1 eV are required in the high voltage discharge. The total discharge unit is therefore subject to a very heavy stress.

The wear of the electrode material during operation is usually designated as "electrode burn-off." The physical and chemical causes of electrode burn-off are many and in part not yet completely understood. There occur especially, depending upon the type of the laser gas and the discharge, pulverization phenomena ("sputtering") and also chemical reactions that are caused by the discharge plasma.

In the state of technology, attempts have been made to confront the problem of electrode burn-off by choosing metallic materials for the electrodes in which the burn-off in each case of use (laser type, gas mixture, etc.) is reduced to a minimum. It must, however, be determined that electrode burn-off is fundamentally unavoidable.

The electrode burn-off is, however, undesirable, not only due to the occurrence of harmful products such as dust and metal halogenides in the laser chamber, but is especially disadvantageous in that after burn-off the electrode geometry and therefore also the electrical field distribution in the gas discharge space is changed, so that, with increasing operating time of the laser, the power data of the laser radiation changes in an undesired manner.

The problem to be solved by the invention is to reduce the harmful effects of electrode burn-off in gas discharge lasers, especially excimer lasers. In accordance with the invention, this problem is solved by providing each of the electrodes for a gas discharge laser with an inlay that is embedded in a body that consists of a material that is, to a great extent, insensitive to electrode burn-off. The inlay consists of metallic material and forms the actual electrode in the narrower previous sense. The body, which partially surrounds the inlay, then no longer needs to be of metallic material, but can be formed of an insulating material, so that for this body there is substantially more material available than for the metal inlay.

As a material for the metallic inlay, all known electrode materials for excimer lasers at the current state of technology come into consideration, for example, nickel, brass, aluminum alloys, metals of the platinum group or gold, and alloys of platinum, etc.

The invention attempts to alleviate the problem of the electrode burn-off, not primarily through finding materials especially resistant to burn-off, but rather by accepting the burn-off that is unavoidable, even using the best possible materials currently available, but to reduce to the greatest extent possible the effects of the burn-off on the change in the electrical field between the electrodes.

In accordance with the invention, therefore, the electrodes consist of metal only in the desired discharge area. In a cross section perpendicular to the longitudinal axis of the electrodes (and therefore also transverse to the optical axis of the resonator), contoured areas of the body that is insensitive to electrode burn-off are contiguous with the metal inlay, where the contouring is done in such a manner that the electrical field distribution has the desired path between the metallic inlays and especially the gas discharge is concentrated on the apex area of the electrode.

Field distribution as a function of electrode burn-off (that is, the reduction of the thickness of the metallic inlay) and calculated in advance, and the profiles of the bodies insensitive to electrode burn-off can be selected in such a manner that, with typical burn-off thickness of up to 0.3  $\mu\text{m}$  (which can be reached with approximately 1 billion laser pulses), the field strength distribution that determines the gas discharge is hardly changed.

In the current state of technology, customarily with an increased operating time of the laser (increasing number of pulses), the burning surface of the gas discharge on the electrodes becomes wider. Due to this widening, the field development between the electrodes is changed and therefore the properties of the gas discharge also change, so that the constancy of the power of the laser is no longer assured at a specific spatial angle. This disadvantage is alleviated by the invention since even with increasing burn-off the electrodes do not become wider and therefore the electrical field strength

distribution is not substantially changed. For this, the metallic inlay in the ceramic body is formed in such a manner that its width is independent of the burn-off.

The body that is to a great extent insensitive to electrode burn-off consists of a dielectric material. Known procedures of field strength simulation can be used to calculate field distribution between the electrodes as a function of the wear of the inlay and the dielectric body on both sides of the metallic inlay can be shaped in such a manner that the field distribution remains the same even with increasing burn-off.

The width of the gas discharge is equal to the width of the metallic inlays (in the state of technology, the width of metallic electrodes is regularly larger than the width of the gas discharge).

In the following, a sample embodiment of the invention will be explained in greater detail using the drawing. Ceramics with high dielectric constants are used, especially aluminum oxide, zirconium oxide and aluminum nitride. The following are shown:

Fig. 1, schematically a cross section through the discharge chamber of an excimer laser, according to a first sample embodiment.

Fig. 2, a further sample embodiment of an excimer laser, and

Fig. 3, a modified electrode.

The discharge chamber 10 is filled with a laser gas that is especially conveyed into the area between two electrodes 12, 14.

The electrodes each consist of a ceramic body 12 and 14, in which a slot is formed on the discharge side, in which a metallic inlay 16 and 18 is fastened.

As material for the metallic inlay 16, 18, the known electrode materials (see above) come under consideration. The figure is a cross section perpendicular to the optical axis of the excimer laser, that is, perpendicular to the longitudinal axes of the electrodes. The width  $b$  of each metallic inlay 16, 18 is, for example, between 4 and 15 mm, preferably between 5 and 8 mm. The discharge surface is flat or shaped. Between the ends of the metallic inlay 16, 18 and the opposite edge of the slot in the ceramic body 12, 14, there may be a clearance whose width is indicated in the figure with "5." Depending upon this clearance, the ceramic bodies 12, 14 in the areas 12a, 14a, which are immediately adjacent to the metallic inlay, are continued and, indeed, in such a fashion that the electrical field strength distribution in the area between the electrodes is as homogeneous as possible and does not substantially change with a burn-off of the metallic inlays 16, 18. In order to determine the contour in segments 12a and 14a of the ceramic bodies 12 and 14, different burn-off situations can be simulated and a best possible profile for the ceramic bodies can be found by computer simulation.

The ceramic bodies 12 and 14 are each supported by electrode carriers 20 and 22. The electrode carriers 20, 22 consist of electrically conductive material, for example, metal. The metallic inlay 16 of the

electrode is fastened by means of electrically conductive bolts 26a, 26b, which extend through the electrode carriers and the associated ceramic bodies 12. In this regard, the bolts 26a, 26b are connected firmly to the metallic inlay 16. The electrode as a whole is connected to the electrode carrier 20 by means of nuts 28a, 28b screwed onto the bolts 26a, 26b.

The electrode represented in Fig. 1 at the bottom is installed with a single conducting bolt 30 and a nut 32 on the electrode carrier 22. High voltage is applied between the metallic inlays 16, 18 for the gas discharge.

The dimensions of the metallic inlays 16, 18 and the geometry of the ceramic bodies 12, 14, especially in the areas 12a and 14a, are related to each other in such a fashion that, first of all, the width of the metallic inlay is reduced approximately to at least the discharge width "e" and furthermore the contouring of the ceramic bodies is chosen in such a manner that an electrical field in the discharge volume 24 (therefore, the space in which the discharge takes place) is as homogeneous as possible.

Fig. 2 shows a modified sample embodiment of a set of electrodes for an excimer laser. Components that correspond to each other or that are comparable in function are provided with the same reference numbers, while modified variants are designated with letters.

In the embodiment according to Fig. 2, the metallic inlays 16 are massive in form and extend through the ceramic bodies 12c, 12d to the electrode carrier 20. The fastening of the metallic inlay 16 to the electrode carrier 20 is done by means of a screw 34. The metallic inlay 18 of the other electrode lying opposite is fastened by means of a screw 36 to the electrode carrier 22. Here, as well, the components 16, 34, 22, 36 and 18 are again electrically conductive.

The massive metallic inlays 16, 18 of the electrodes placed between the ceramic bodies 12c, 12d and 14c, 14d have a width "b," which corresponds to the discharge width (cf. Fig. 1). The metallic electrode inlays 16, 18 may also have a profile, therefore not a completely flat surface. The bar-shaped metallic inlays 16, 18 can be provided, according to Fig. 2, with holes 38 and 40 for a coolant.

The formation of the electrical field by applying high-voltage to the electrodes in such a manner that the triggering of the gas discharge between the electrodes occurs only between the electrically conductive metallic inlays 16, 18 is achieved by the correspondingly shaped side shapes 12c, 12d, 14c, 14d, made of dielectric material (e.g., ceramics). The lacking conductivity of these dielectric bodies leads to the breaking off of the attenuation of the discharge in areas outside the electrically conducting inlays 16, 18 in a very short time (typically 1 to 2 ns), therefore not during the ignition phase of the gas discharge. This is known from gas discharge physics and is designated there as "dielectrically impeded discharge."

Fig. 3 shows another sample embodiment of a gas discharge laser, where here only a single electrode is represented. The second electrode would be added analogously. In the case of the sample embodiment according to Fig. 3, the electrode is formed of a massive metal body 16 that has a central ridge 16a facing the gas discharge. The ridge 16a defines the width "b" of the gas discharge. According to



fig. 3, ceramic bodies 12e, 12f are placed directly bordering on the ridge 16a.. The ceramic coverings 12e, 12f can especially be applied by plasma spray. They are shaped geometrically in such a manner that the electrode contour necessary for the desired shaping of the electrical field is created.

In all sample embodiments of the invention described above, the contour of the metallic inlays 16, 18 and of the associated dielectric bodies is, as stated, determined in such a manner that the electrical field causes a gas discharge only between the metallic inlays. In the state of technology of metallic electrodes (that is, without the ceramic covering in accordance with the invention), it is known how to optimize the shape of the electrodes. We refer especially to the following literature: "Compact Uniform Field Profiles," Gerard J. Ernst, Department of Applied Physics, Twente University of Technology, Enschede, The Netherlands, Optics Communications, Vol. 47, No. 1.1, August 1983; "Improved Uniform-Field Electrode Profiles for TEA Laser and High-Voltage Applications," T.Y. Chang, Bell Telephone Laboratories, The Review of Science Instruments, Vol. 41, No. 4, April 1973, and "A Novel Analytical Design Method for Discharge Laser Electrode Profiles," E. A. Stappacris, Northrop Corporation, Appl. Phys. Lett. 40/12, June 15, 1982.

These known optimization procedures can fundamentally also be used for the calculation of the dimensions and contours of the metallic inlays and ceramic bodies according to this invention. Using these methods, with the aid of potential theory and the method of the so-called conformed representation, first an analytically closed representable profile is assumed. As is known to the skilled person, the so-called Rogowski profile can, for example, be taken as a starting point. With such a profile as the starting point, the contour is then changed experimentally step by step, and the intensity distribution of the laser radiation achieved in each case is measured. Simultaneously, the electrical field strength distribution between the contours thus changed (no longer mathematically describable with a closed analytical expression) at the firing time is calculated by a computer program, and indeed according to the known finite element procedure. As a result, nothing but computer contour coordinates for the electrode systems and associated intensity profiles of the laser radiation generated with electrode pairs are obtained.

The determination of the contours of the dielectric parts, according to Figs. 1 through 3, is now carried out on the basis of the contour of the full metal electrode, again with the finite element procedure, where the contour is changed until an electrical field strength distribution between the electrodes arises, about which it is known from experience that it generates the desired laser beam intensity profile. Calculations show that this is possible for the above-described combined electrodes of metal and dielectric parts. The calculations show especially that an electrode burn-off of up to a tenth of a millimeter in the center in the electrode does not lead to harmful changes of the discharge behavior between the conducting metal parts of the combined electrodes. In the case of all-metal electrodes, according to the state of technology, on the other hand, such a contour change leads to a constant widening of the discharge with a consequent continuous flattening, with a contour formation that is critical to the concentration of the discharge in the central part of the electrode.

The dielectric body 12, 14, which borders the electrode on both sides of the discharge, is therefore shaped in such a manner that when two electrodes are placed opposite each other in the discharge space, the homogeneity of the field distribution is optimized and, indeed, even if in the course of use of the electrode, the contour changes to the usual extent (slightly).

The invention also includes a set of electrodes for a gas discharge laser, in which at least one of the electrodes, preferably the anode, has the above-described shape.

#### Patent Claims

1. Electrode for a gas discharge laser with an inlay (16, 18) made of metal, which is embedded in a body (12, 14), which consists of another material that is insensitive to electrode burn-off.
2. Electrode according to Claim 1, characterized in that the body (12, 14) consists at least partly of ceramics.
3. Electrode according to one of the Claims 1 or 2, characterized in that the metallic inlay (16, 18) has a width (b) that corresponds to the width (e) of the gas discharge.
4. Electrode according to one of the foregoing Claims, characterized in that the body (12, 14) is shaped, on both sides of the inlay (16, 18) in such a manner that, when two electrodes are placed opposite each other in the discharge space, the homogeneity of the field distribution is promoted.
5. Electrode set for a gas discharge laser, characterized in that at least one electrode, preferably the anode, is shaped in accordance with one of the Claims 1 through 4.

Two pages of drawings follow

[See original for drawings]

[Heading on drawings:]  
DRAWING PAGE 1

Number:	<b>DE 44 01 892 A1</b>
Int.Cl. <sup>6</sup> :	<b>H 01 S 3/038</b>
Publication Date:	<b>July 7, 1995</b>



②1 Aktenzeichen: P 44 01 892.4  
②2 Anmeldetag: 24. 1. 94  
④3 Offenlegungstag: 27. 7. 95

DE 44 01 892 A 1

⑦1 Anmelder:  
Lambda Physik Forschungsgesellschaft mbH, 37079  
Göttingen, DE

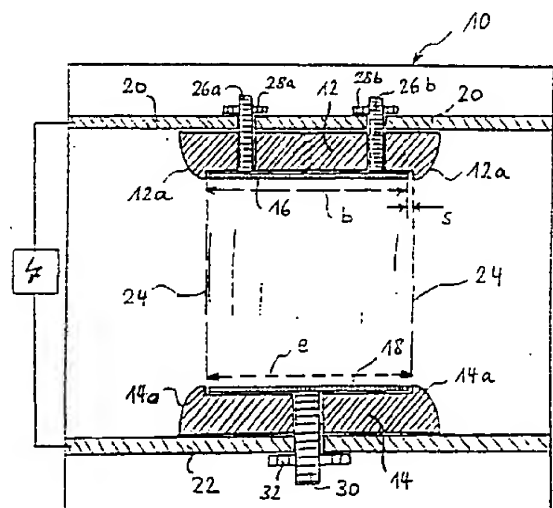
⑦4 Vertreter:  
Fhr. von Pechmann, E., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.;  
Behrens, D., Dr.-Ing.; Brandes, J., Dipl.-Chem.  
Dr.rer.nat.; Goetz, R., Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing.;  
von Hellfeld, A., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., Pat.-Anwälte;  
Würtenberger, G., Dr., Rechtsanw.; Schmidt, S.,  
Dipl.-Ing. Univ.; Wibbelmann, J., Dipl.-Chem.Univ.  
Dr.rer.nat., Pat.-Anwälte, 81541 München

⑦2 Erfinder:  
Bücher, Hermann, Dr., 52074 Aachen, DE; Frowein,  
Helmut, 37077 Göttingen, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Elektrode für einen Gasentladungslaser

⑤7 Es werden Elektroden für Gasentladungslaser, insbeson-  
dere Excimerlaser, vorgeschlagen, die eine metallische  
Einlage 16, 18 aufweisen, die in einen Körper 12, 14  
eingebettet ist, der aus einem gegen Elektrodenabbbrand  
unempfindlichen Material besteht, z. B. aus Keramik.



DE 44 01 892 A 1

Die Erfindung betrifft eine Elektrode für einen Gasentladungslaser.

Insbesondere bezieht sich die Erfindung auf Elektroden für Excimerlaser, wobei auch solche Laser eingeschlossen sein sollen, in deren Gasentladung sogenannte Exciplexe oder auch Trimere auftreten, also angeregte Edelgashalogenide, die nur in angeregten Zuständen stabil sind, so daß bei der stimulierten Emission ein Übergang in einen nicht gebundenen Zustand erfolgt.

Transversal angeregte Gasentladungslaser weisen eine mit dem sogenannten Arbeitsgas (auch Lasergas genannt) gefüllte Laserkammer auf, in der zwei Elektroden üblicherweise parallel zur optischen Achse eines Laser-Resonators angeordnet sind. Diese Elektroden dienen der sogenannten Hauptentladung des Lasers, zwischen ihnen wird also die Gasentladung gezündet. Um eine effektive Anregung des Arbeitsgases für die Gasentladung zu erreichen, wird dieses vor dem Einsetzen der Hauptentladung einer Vorionisierung unterworfen, d. h. es werden vor Beginn der Hauptentladung mittels einer Vorionisierung  $10^5$  bis  $10^8$  freie Elektronen pro  $\text{cm}^3$  im Lasergas erzeugt. Es ist bekannt, für diese Vorionisierung ebenfalls gesonderte Elektroden vorzusehen und zwischen ihnen Funken zu zünden. Diese der Vorionisierung dienenden Elektroden werden üblicherweise auch als Hilfselektroden bezeichnet. Außer einer derartigen UV-Vorionisierung mit Funken ist auch eine Corona-Vorionisierung oder eine Röntgenvorionisierung möglich.

Arbeitsgasmischungen für Excimerlaser (genauer: Exciplexlaser) enthalten neben Edelgasen auch eine Halogenkomponente oder einen Hologendonator, wie  $\text{F}_2$ ,  $\text{NF}_3$ ,  $\text{HCl}$  etc. Bei einem Gesamtdruck von 1,5 bis 10 bar beträgt die Halogenkonzentration 0,1 bis 0,5%. Diese Gasmischung wird zwischen die zwei langgestreckten parallelen Hauptentladungselektroden gebracht und der Hochspannungsentladung ausgesetzt. Um Laserimpulse hoher Energie zu erzeugen, sind bei der Hochspannungsentladung sehr hohe Stromdichten von typischerweise  $10^5$  A/ $\text{cm}^2$  und Leistungsdichten von  $10^6$  W/ $\text{cm}^2$  und Elektronentemperaturen im Bereich von 1 eV erforderlich. Die gesamte Entladungseinheit unterliegt daher einer sehr starken Beanspruchung.

Die Abtragung von Elektrodenmaterial während des Betriebs wird üblicherweise als "Elektrodenabbrand" bezeichnet. Die physikalischen und chemischen Ursachen des Elektrodenabbrandes sind vielfältig und zum Teil auch noch nicht vollständig verstanden. Insbesondere treten, je nach Art des Lasergases und der Entladung, Zerstäubungserscheinungen ("sputtern") und auch chemische Reaktionen auf, die durch das Entladungsplasma verursacht sind.

Im Stand der Technik hat man versucht, dem Problem des Elektrodenabbrandes dadurch zu begegnen, daß metallische Materialien für die Elektroden gewählt wurden, bei denen der Abbrand im jeweiligen Einsatzfall (Lasertyp, Gasgemisch etc.) auf ein Minimum reduziert ist. Es bleibt aber festzustellen, daß der Elektrodenabbrand grundsätzlich unvermeidlich ist.

Der Elektrodenabbrand ist aber nicht nur wegen des Auftretens schädlicher Produkte wie Staub und Metallhalogenide in der Laserkammer unerwünscht, sondern besonders deshalb nachteilig, weil sich mit dem Abbrand die Elektrodengeometrie und somit auch die elektrische Feldverteilung im Gasentladungsbereich ändert, so daß mit zunehmender Betriebsdauer des Lasers die

Leistungsdaten der Laserstrahlung sich in unerwünschter Weise verändern.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die schädlichen Auswirkungen des Elektrodenabbrandes bei Gasentladungslasern, insbesondere Excimerlasern, zu reduzieren.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe dadurch gelöst, daß die Elektroden für einen Gasentladungslaser jeweils mit einer Einlage versehen werden, die in einen Körper eingebettet ist, der aus einem gegen Elektrodenabbrand weitgehend unempfindlichen Material besteht. Die Einlage besteht aus metallischem Material und bildet die eigentliche Elektrode im engeren, herkömmlichen Sinn. Der die Einlage teilweise umgebende Körper braucht dann nicht mehr aus metallischem Material zu bestehen, sondern kann aus einem isolierenden Material geformt sein, so daß für diesen Körper wesentlich mehr Materialien zur Verfügung stehen als für die metallische Einlage.

Als Material für die metallische Einlage kommen alle im Stand der Technik bekannten Elektrodenmaterialien für Excimerlaser in Betracht beispielsweise Nickel, Messing, Aluminiumlegierungen, Metalle der Platingruppe oder Gold, und Legierungen von Platin etc.

Die Erfindung sucht dem Problem des Elektrodenabbrandes nicht primär dadurch abzuwehren, daß gegen den Abbrand besonders widerstandsfähige Materialien gefunden werden, sondern daß vielmehr der Abbrand, der auch mit den zur Zeit bestmöglichen Materialien nicht zu vermeiden ist, hingenommen wird, jedoch die Auswirkungen des Abbrandes auf eine Veränderung des elektrischen Feldes zwischen den Elektroden weitgehend reduziert werden.

Erfindungsgemäß bestehen also die Elektroden nur im gewünschten Entladungsbereich aus Metall. In einem Querschnitt senkrecht zur Längsachse der Elektroden (und somit auch quer zur optischen Achse des Resonators) schließen sich an die metallische Einlage konturierte Bereiche des gegen Elektrodenabbrand unempfindlichen Körpers an, wobei die Konturierung so erfolgt, daß die elektrische Feldverteilung den gewünschten Verlauf zwischen den metallischen Einlagen aufweist und insbesondere die Gasentladung auf den Scheitelbereich der Elektrode konzentriert ist.

Die Feldverteilung in Abhängigkeit vom Elektrodenabbrand (also der Reduzierung der Stärke der metallischen Einlage) läßt sich im voraus berechnen, und es können die Profile des gegen Elektrodenabbrand unempfindlichen Körpers so gewählt werden, daß bei den typischen Abbrandstärken von bis zu  $0,3 \mu\text{m}$  (was bei etwa 1000 Millionen Laserpulsen erreicht sein kann) die für die Gasentladung maßgebliche Feldstärkeverteilung kaum geändert wird.

Beim Stand der Technik wird üblicherweise mit zunehmender Betriebsdauer des Lasers (steigender Pulszahl) die Brennfläche der Gasentladung auf den Elektroden breiter. Durch diese Verbreiterung wird der Feldverlauf zwischen den Elektroden geändert und somit ändern sich auch die Eigenschaften der Gasentladung, so daß auch die Konstanz der Leistung des Lasers in einem vorgegebenen Raumwinkel nicht mehr gewährleistet ist. Diesem Nachteil wird durch die Erfindung abgeholfen, da auch mit zunehmendem Abbrand die Elektroden nicht breiter und damit die elektrische Feldstärkeverteilung nicht wesentlich geändert wird. Hierzu ist die metallische Einlage in dem Keramikkörper so gestaltet, daß ihre Breite unabhängig ist vom Abbrand.

Der gegen Elektrodenabbrand weitgehend unemp-

findliche Körper besteht aus dielektrischem Material. Mit bekannten Verfahren der Feldstärkesimulation können Feldverteilungen zwischen den Elektroden in Abhängigkeit vom Abtrag der Einlage berechnet werden, und der dielektrische Körper beidseits der metallischen Einlage kann so gestaltet werden, daß die Feldverteilung auch bei zunehmendem Abbrand gleich bleibt.

Die Breite der Gasentladung ist gleich der Breite der metallischen Einlagen (im Stand der Technik ist die Breite der metallischen Elektroden regelmäßig größer als die Breite der Gasentladung).

Nachfolgend wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung anhand der Zeichnung näher erläutert. Als dielektrische Materialien kommen Keramiken mit hoher Dielektrizitätskonstante zum Einsatz, insbesondere Aluminiumoxyd, Zirkonoxyd, und Aluminiumnitrid. Es zeigt:

Fig. 1 schematisch einen Schnitt durch die Entladungskammer eines Excimerlasers gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel;

Fig. 2 ein weiteres Ausführungsbeispiel eines Excimerlasers; und

Fig. 3 eine abgewandelte Elektrode.

Die Entladungskammer 10 ist mit einem Lasergas gefüllt, das insbesondere in den Bereich zwischen zwei Elektroden 12, 14 gefördert wird.

Die Elektroden bestehen jeweils aus einem Keramikkörper 12 bzw. 14, in dem eine Ausnehmung entladungsseitig ausgeformt ist, in welcher jeweils eine metallische Einlage 16 bzw. 18 befestigt ist.

Als Material für die metallischen Einlagen 16, 18 kommen die bekannten Elektrodenmaterialien (s. o.) in Betracht. Die Figur ist ein Schnitt senkrecht zur optischen Achse des Excimerlasers, d. h. senkrecht zu den Längsachsen der Elektroden. Die Breite  $b$  jeder metallischen Einlage 16, 18 liegt z. B. zwischen 4 und 15 mm, vorzugsweise zwischen 5 und 8 mm. Die Entladungsfläche ist plan oder profiliert. Zwischen den Enden der metallischen Einlagen 16, 18 und dem gegenüberliegenden Rand der Ausnehmung im Keramikkörper 12, 14 kann ein Spalt gegeben sein, dessen Breite in der Figur mit "s" dargestellt ist. In Abhängigkeit von diesem Spalt werden die Keramikkörper 12, 14 in den Bereichen 12a, 14a, die der metallischen Einlage unmittelbar benachbart sind, konturiert, und zwar so, daß die elektrische Feldstärkeverteilung im Bereich zwischen den Elektroden möglichst homogen ist und sich auch nicht mit einem Abbrand der metallischen Einlagen 16, 18 wesentlich ändert. Für die Ermittlung der Kontur in den Abschnitten 12a bzw. 14a der Keramikkörper 12 bzw. 14 können jeweils unterschiedliche Abbrand-Situationen simuliert werden, und es kann so durch rechnerische Simulation ein bestmögliches Profil für den Keramikkörper gefunden werden.

Die Keramikkörper 12 bzw. 14 sind jeweils durch Elektrodenträger 20 bzw. 22 abgestützt. Die Elektrodenträger 20, 22 bestehen aus elektrisch leitfähigem Material z. B. Metall. Mittels elektrisch leitender Bolzen 26a, 26b, die den Elektrodenträger und den zugehörigen Keramikkörper 12 durchsetzen, wird die metallische Einlage 16 der Elektrode befestigt. Dabei sind die Bolzen 26a, 26b jeweils fest mit der metallischen Einlage 16 verbunden. Mittels auf die Bolzen 26a, 26b aufgeschraubter Schrauben 28a, 28b wird die Elektrode insgesamt mit dem Elektrodenträger 20 verbunden.

Die in Fig. 1 unten dargestellte Elektrode ist mit einem einzigen leitenden Bolzen 30 und einer Schrauben-

mutter 32 am Elektrodenträger 22 montiert. Für die Gasentladung wird zwischen die Elektrodenträger 20, 22 und damit auch zwischen die metallischen Einlagen 16, 18 eine Hochspannung angelegt.

Es sind die Abmessungen der metallischen Einlagen 16, 18 und die Geometrie der Keramikkörper 12, 14, insbesondere in den Bereichen 12a, 14a, so aufeinander abgestimmt, daß zum einen die Breite der metallischen Einlagen auf zumindest annähernd die Entladungsbreite "e" reduziert ist und zum anderen die Konturierung der Keramikkörper so gewählt ist, daß ein möglichst homogenes elektrisches Feld im Entladevolumen 24 (also dem Raum, in dem die Entladung stattfindet) erreicht ist.

Fig. 2 zeigt ein abgewandeltes Ausführungsbeispiel eines Elektrodensatzes für einen Excimerlaser. Einander entsprechende oder in der Funktion vergleichbare Bauteile sind mit gleichen Bezugsziffern versehen, wobei abgewandelte Varianten jeweils mit Buchstaben gekennzeichnet sind.

Beim Ausführungsbeispiel nach Fig. 2 sind die metallischen Einlagen 16 massiv ausgebildet und erstrecken sich durch den Keramikkörper 12c, 12d bis zum Elektrodenträger 20. Die Befestigung der metallischen Einlage 16 am Elektrodenträger 20 erfolgt mittels einer Schraube 34. Die gegenüberliegende metallische Einlage 18 der anderen Elektrode wird mittels einer Schraube 36 am Elektrodenträger 22 befestigt. Auch hier sind wieder die Bauteile 16, 34, 20, 22, 36 und 18 elektrisch leitend.

Die zwischen den Keramikkörpern 12c, 12d und 14c, 14d angeordneten massiven metallischen Einlagen 16, 18 der Elektroden haben eine Breite "b", die der Entladungsbreite (vgl. Fig. 1) entspricht. Die metallischen Elektrodeneinlagen 16, 18 können auch mit einem Profil, also einer nicht völlig ebenen Oberfläche, versehen sein. Die barrenförmigen metallischen Einlagen 16, 18 können gemäß Fig. 2 mit Bohrungen 38 bzw. 40 für ein Kühlmittel versehen sein.

Die Formung des elektrischen Feldes bei Anlegen einer Hochspannung an die Elektroden derart, daß die Zündung der Gasentladung zwischen den Elektroden nur zwischen den elektrisch leitenden metallischen Einlagen 16, 18 einsetzt, wird durch entsprechend geformte Seitenprofile 12c, 12d, 14c, 14d aus dielektrischem Material (z. B. Keramik) erreicht. Die mangelnde Leitfähigkeit dieser dielektrischen Körper führt dazu, daß eine Ausdehnung der Entladung in Bereiche außerhalb der elektrisch leitenden Einlagen 16, 18 hinaus innerhalb kürzester Zeit (typischerweise 1 bis 2 ns), also noch während der Zündphase der Gasentladung, abbricht. Dies ist aus der Gasentladungsphysik bekannt, und wird dort als "dielektrisch behinderte Entladung" bezeichnet.

Fig. 3 zeigt ein anderes Ausführungsbeispiel eines Gasentladungslasers, wobei hier nur eine einzige Elektrode dargestellt ist. Die zweite Elektrode wäre analog hinzuzufügen. Bei diesem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 3 wird die Elektrode durch einen massiven Metallkörper 16 gebildet, der einen mittigen, der Gasentladung zugewandten Vorsprung 16a aufweist. Der Vorsprung 16a definiert die Breite "b" der Gasentladung. Direkt angrenzend an den Vorsprung 16a sind gemäß Fig. 3 keramische Körper 12e, 12f plaziert. Die keramischen Abdeckungen 12e, 12f können insbesondere auch durch Plasmaspritzten aufgebracht werden. Sie werden geometrisch so gestaltet, daß die für die gewünschte Formung des elektrischen Feldes erforderliche Elektrodenkant entsteht.

Bei allen vorstehend erläuterten Ausführungsbeispielen der Erfindung wird, wie gesagt, die Kontur der me-

tallischen Einlagen 16, 18 und der zugehörigen dielektrischen Körper so bestimmt, daß das elektrische Feld eine Gasentladung nur zwischen den metallischen Einlagen bewirkt. Im Stand der Technik metallischer Elektroden (also ohne die erfindungsgemäßen keramischen Abdeckungen) ist es bekannt, die Form der Elektroden zu optimieren. Verwiesen wird insbesondere auf folgende Literatur: "Compact Uniform Field Profiles", Gerard J. Ernst, Department of Applied Physics, Twente University of Technology, Enschede, The Netherlands, Optics Communications, vol. 47, Nr. 1, 1. August 1983; "Improved Uniform-Field Electrode Profiles for TEA Laser and High-Voltage Applications", T. Y. Chang, Bell Telephone Laboratories, The Review of Science Instruments, vol. 41, Nr. 4, April 1973 und "A novel analytical design method for discharge laser electrode profiles", E. A. Stappaerts, Northrop Corporation, Appl. Phys. Lett. 40/12, 15. Juni 1982.

Diese bekannten Optimierungsverfahren können grundsätzlich auch für die Berechnung der Abmessungen und Konturen der metallischen Einlagen und der Keramikkörper gemäß der vorliegenden Erfindung eingesetzt werden. Bei diesen Methoden wird mit Hilfe der Potentialtheorie und der Methode der sogenannten konformen Abbildung zunächst von einem analytisch geschlossen darstellbaren Profil ausgegangen. Wie dem Fachmann bekannt ist, kann beispielsweise das sogenannte Rogowski-Profil als Ausgangspunkt genommen werden. Mit einem solchen Profil als Ausgangspunkt wird dann experimentell die Kontur schrittweise verändert und es wird die damit jeweils erzeugte Intensitätsverteilung der Laserstrahlung gemessen. Gleichzeitig wird die elektrische Feldstärkeverteilung zwischen den so veränderten (mathematisch nicht mehr mit einem geschlossenen analytischen Ausdruck beschreibbaren) Konturen zum Zündzeitpunkt mit einem Rechenprogramm berechnet, und zwar nach dem bekannten Finite-Elemente-Verfahren. Damit werden rein rechnerisch Konturkoordinaten für die Elektrodensysteme und zugehörige Intensitätsprofile der mit solchen Elektrodenpaaren erzeugten Laserstrahlung gewonnen.

Die Bestimmung der Konturen der dielektrischen Teile gemäß den Fig. 1 bis 3 erfolgt nun ausgehend von der Kontur der Vollmetallelektrode wiederum mit dem Finite-Elemente-Verfahren, wobei die Kontur so lange verändert wird, bis sich eine elektrische Feldstärkeverteilung zwischen den Elektroden ergibt, von der aus Erfahrung bekannt ist, daß sie das gewünschte Laserstrahlintensitätsprofil erzeugt. Rechnungen zeigen, daß dies für die vorstehend beschriebenen Verbundelektroden aus metallischen und dielektrischen Teilen möglich ist. Insbesondere zeigen die Rechnungen, daß ein Elektrodenabbrand von bis zu einigen Zehntel Millimeter in der Elektrodenmitte nicht zu schädlichen Änderungen des Entladungsverhaltens zwischen den leitenden Metallteilen der Verbundelektroden führt. Bei Vollmetallelektroden gemäß dem Stand der Technik hingegen führt eine solche Konturänderung zu einer stetigen Verbreiterung der Entladung mit einer damit einhergehenden stetigen Abflachung der für die Konzentrierung der Entladung auf den Elektrodenmittelpunkt kritischen Konturausbildung.

Der die Elektrode beidseits der Entladung eingrenzende dielektrische Körper 12, 14 wird also so geformt, daß bei gegenüberliegender Anordnung zweier Elektroden im Entladungsbereich die Homogenität der Feldverteilung optimiert ist, und zwar auch dann noch, wenn sich im Verlaufe des Gebrauches der Elektrode die

Kontur im üblichen Maße (leicht) verändert.

Die Erfindung beinhaltet auch einen Elektrodensatz für einen Gasentladungslaser, bei dem zumindest eine der Elektroden, vorzugsweise die Anode, in der oben beschriebenen Weise ausgestaltet ist.

#### Patentansprüche

1. Elektrode für einen Gasentladungslaser, mit einer Einlage (16, 18) aus Metall, die in einem Körper (12, 14) eingebettet ist, der aus einem anderen, gegen Elektrodenabbrand unempfindlichen Material besteht.
2. Elektrode nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Körper (12, 14) zumindest teilweise aus Keramik besteht.
3. Elektrode nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die metallische Einlage (16, 18) eine Breite (b) hat, die der Breite (e) der Gasentladung entspricht.
4. Elektrode nach einem der hervorgehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Körper (12, 14) beidseits der Einlage (16, 18) so geformt ist, daß bei gegenüberliegender Anordnung zweier Elektroden im Entladungsbereich die Homogenität der Feldverteilung gefördert ist.
5. Elektrodensatz für einen Gasentladungslaser dadurch gekennzeichnet, daß zumindest eine Elektrode, vorzugsweise die Anode, gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4 gestaltet ist.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

Fig. 1

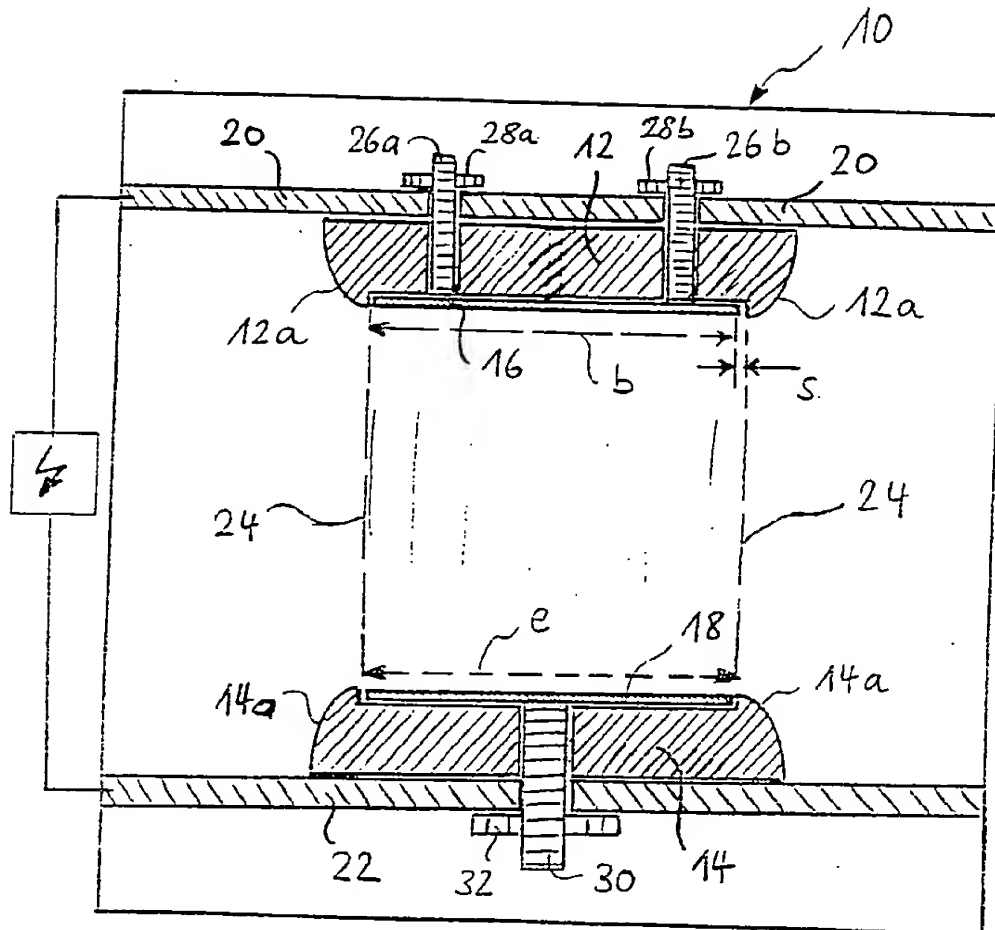


Fig. 2

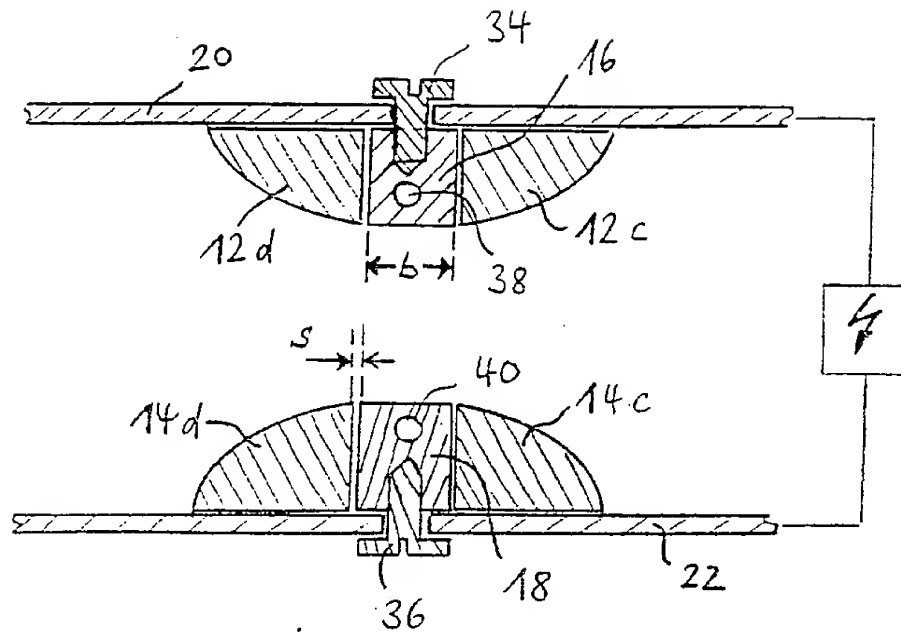


Fig. 3

